



Indian and  
Northern Affairs

Affaires indiennes  
et du Nord

North of 60

Construction  
in Permafrost

CAI  
IA  
- 1977  
C56



3 1761 11765128 1







Digitized by the Internet Archive  
in 2022 with funding from  
University of Toronto

<https://archive.org/details/31761117651281>

971  
IA  
-1977  
C56

CONSTRUCTION IN PERMAFROST  
OBSTACLES OF SOIL AND CLIMATE

Published under authority of the  
Hon. J. Hugh Faulkner,  
Minister of Indian and Northern Affairs,  
Ottawa, 1977  
QS-0053-000-BB-A3

©Minister of Supply and Services Canada 1977  
Catalogue No. R72-11473  
ISBN-0-662-01446-4

Perennially frozen ground or permafrost, as it is more commonly called, is probably the best known and yet least understood feature of the North. Although not a new phenomenon, it is only the relatively recent building of such projects as the Alaska Highway, the Canol Line and the airstrips for the Northwest Staging Route that has made the special problems of construction in permafrost so evident to engineers.

To cope adequately with these problems, the engineer requires a clear appreciation of the basic properties of permafrost, the way in which these properties can change with varying conditions and the implications of such changes to construction.

The word "Permafrost" is used to describe that part of the earth's crust where the temperature is below 32°F. The term describes only the thermal condition of the ground and not its composition which may be bedrock, gravel, sand, silt, clay or muskeg, singly or in combination. Thus permafrost is not the name of a new material but is simply the frozen equivalent of the ground as found in warmer climates.

In the case of solid rock, gravel and sand, the frozen condition does not seriously affect the engineering properties of the material. If, however, the ground consists of water-bearing silt or clay, freezing transforms the material to a hard and solid mass. It is to such perennially frozen silt and clay that the name permafrost is popularly applied.

The ground in permafrost areas is normally thought of as two distinct layers: the upper, or active layer, which alternately freezes and thaws with the seasons; and the lower, or permafrost layer, which remains frozen continuously. The depth of the active layer varies with many local factors including soil type, moisture content and vegetative cover in much the same way as depth of frost penetration varies with local conditions in the more southerly areas of Canada.



Similarly, foundations located in the active zone are exposed to frost action problems analogous to those encountered in the freezing zone of the soil in more temperate regions. Almost one-half of the land area of Canada is underlain by permafrost. Although chiefly confined to the Northwest and Yukon Territories, it does extend into the upper portions of the provinces, particularly into the northern parts of Manitoba and Quebec. As would be expected, the thickness of permafrost increases towards the north, ranging from a few feet in areas such as Hay River to approximately 1300 feet at Resolute in the Far North.

#### Southern Limit

Of major importance to the engineer is knowledge of the southern limit of permafrost in Canada. Unfortunately, this is not a well defined line, as it generally appears on a map. In practice, it consists of a belt of land several hundred miles wide in which areas of continuous permafrost (where the permafrost is found everywhere under the surface) give way to areas of sporadic permafrost (where the frozen ground tends to exist only as scattered patches or islands within the unfrozen material).

It is these latter areas that often pose the most difficult construction problems for the engineer, due mainly to the limited extent of permafrost and consequent difficulty of predicting its occurrence at a specific location, and to its temperature which is generally near 32°F and thus close to the melting.

It is the melting of permafrost containing large quantities of ice that gives rise to the major construction problems in permafrost areas. The ice in frozen soil can take the form of layers or lenses ranging from hairline size to 3 or 4 feet in thickness, or can occur as coatings over small soil particles, stones and boulders. Some of the most spectacular ice deposits are found as chunks or wedges buried in the frozen ground.

For soils in a frozen condition, the ice acts like a cement, bonding the individual particles together and producing a soil with considerable strength. When thawed, however, the hard-frozen soil can change to a soft slurry with little or no supporting power.

Knowledge of the ice content of frozen soil is a major importance to the engineer since it provides a measure of the extent to which settlements will occur or trafficability will be affected by thawing. Materials such as frozen rock, gravel, or coarse sand frequently contain little ice and thus impose few problems. Much of northern Canada, however, is underlain by fine-grained soils resulting from glacial action. Such soils generally have high ice contents up to six times that of the soil by volume and if these are to provide suitable support for engineering structures, they must not be allowed to thaw. This is difficult to achieve in view of the extreme sensitivity of permafrost to temperature differences.

#### Thermal Balance

In undisturbed areas of permafrost, a delicate condition of temperature equilibrium exists between the top of the permafrost and the ground surface. Any changes in the natural insulating cover such as the stripping of moss can upset this thermal balance of nature and start the permafrost thawing. Even one passage of a tracked vehicle over the natural ground surface will reduce the insulating value of the moss cover sufficiently to cause thawing.

Preservation of the frozen condition during construction and operation of a building or other engineering facility requires not only specific design and construction techniques but also strict discipline and control of all construction operations. In many cases, it is necessary to protect the organic cover prior to beginning work in an area by placing a one to two-foot gravel layer over all areas that might be disturbed.



A third important and yet often overlooked property of permafrost is its imperviousness to the flow of water. Water cannot percolate through the perennially frozen ground so all water movement tends to occur over or just below the ground surface. This lack of sub-surface drainage often results in an excess of surface water even though much of the North is characterized by very low precipitation. If natural drainage is impeded by construction, the accumulated water will accelerate the thawing of the permafrost, with possible serious results.

Since the problems of construction are greatly lessened in rock or granular soils with little ice content, location of such areas is a most important element in northern construction. There are many cases where the increased construction and maintenance costs arising from poor site conditions would more than pay for the most detailed site studies.

The specific requirements of a site survey will vary with the kind of facility under consideration. In all cases, however, the broad objectives are the same, namely, to determine the best available ground conditions and to provide information on which a satisfactory design can be based.

Airphoto interpretation gives promise of greatly aiding both detailed and regional site surveys, but must be supplemented by ground reconnaissance in the final evaluation of the soil, topography, drainage, and vegetation characteristics of a site. Observations of surface features can provide useful clues to the nature of subsurface conditions and, when properly used, can greatly aid the engineer in his preliminary assessment of a site. Actual sampling of the frozen ground to determine its soil and ice profile is still necessary, however, and special techniques have been developed for this purpose.



Although the siting of engineering facilities on granular materials containing little or no ice permits the use of conventional design and construction techniques, this is not always possible. Where fine-grained materials with high ice contents must be utilized, every effort should be made to preserve the frozen condition of the ground.

#### Circulation of Air

The way in which this is achieved in practice will depend on the type of engineering structure. For heated buildings and most enclosures, the ventilation method is commonly used. With this method, the structure is raised above the ground to permit circulation of air beneath, thus minimizing heat flow to the permafrost. The foundations are usually embedded in the perennially frozen ground so that some lowering of the permafrost table can be tolerated without loss of support. Steamed-in piles have proved particularly well suited to this method in fine-graded soils (Fig. 6 and 7). Where stones and boulders in the soil make pile placing difficult, however, alternative foundation designs may prove more economical.

Occasionally, surface foundations are used. In such cases, an insulating blanket of gravel is first placed on the undisturbed ground to retard downward heat flow and the building constructed over it. This method must be used with caution since the thickness of gravel required to preserve the permafrost will vary with many local factors and is difficult to predict. With this type of construction, even slight lowering of the permafrost table may cause settlement depending on the soil properties, and in addition, the problem of frost action in the active layer of soil beneath the building may prove serious.

These considerations become particularly critical in road and airstrip construction where the ventilation method, as used with buildings, cannot be applied and an insulating gravel blanket must be relied on to retain the thermal regime.

In such cases, the importance of selecting the most favorable site and of keeping disturbance of the surface cover to an absolute minimum in poor soil conditions takes on even greater significance. The only exception to this principle of preserving the frozen condition occurs in the southern areas of permafrost where the frozen ground exists in patches and is close to melting. In these areas, it may be more economical to remove the permafrost by thawing prior to construction and then to build in the normal way.

It is not possible in this brief survey to do more than touch on these major aspects of construction in permafrost. Excavation is one other problem that should be mentioned, however, since it can be both difficult and costly in frozen ground. Normal excavation techniques are much less effective in permafrost. Thus where gravel fill is required, particularly the large amounts needed for roads and airstrips, borrow pits should be located, stripped of vegetation, and allowed to thaw by natural means, well in advance of construction.

Finally, a note about water and sewage facilities. Permafrost imposes difficulties with these by complicating the location of subsurface water supplied and seriously limiting the use of the usual methods of sewage disposal into the soil. In addition to the foundation stability problem resulting from thawing of permafrost, water and sewer lines cannot be placed below frost level and are therefore subject to freezing hazards. To overcome such difficulties, the utility lines are often placed in heated and insulated boxes called utilidors located above grade and supported in a manner similar to buildings.

In summary, past experience with construction over permafrost has clearly illustrated the costly problems that can arise if site selection is neglected and permafrost ignored. With proper application of present known techniques, and with careful attention to detail at all stages of the



work, all types of engineering projects can be successfully carried out in permafrost areas. The cost of such construction is admittedly high by southern standards but reductions can be expected as knowledge of permafrost phenomena and engineering techniques improve and design data become more refined.

La construction, on peut réussir n'importe quelle sorte d'aménagement en zones à pergélisol. Le coût de ces constructions est évidemment élevé au regard des normes qui ont cours plus au Sud (au Canada), mais il peut être réduit au fur et à mesure que s'accroissent les connaissances au sujet du pergélisol, que les techniques structurales s'améliorent et que se précisent les données de construction.



Dans une étude aussi succincte, on ne peut qu'effleurer ces aspects importants de la construction en pergélisol. Il faudrait toutefois traiter ici de l'excavation, puisque cela peut être difficile et coûteux en terrain gelé. Les méthodes de creusage ordinaire ne sont guère appropriées en pergélisol. Ainsi, là où il faut étendre du gravier surtout en quantités considérables comme l'exigent les routes et les pistes d'atterrissage, on devra repérer des puits d'approvisionnement, les débarasser de toute végétation et leur permettre de dégeler naturellement, longtemps avant la mise en chantier de la construction.

### Problèmes du dégel

En dernier lieu, un mot au sujet de l'eau et des égouts. Le pergélisol pose des embarras à cet égard, parce qu'il complique la localisation des réserves d'eau du sous-sol et parce qu'il limite gravement l'emploi des méthodes ordinaires d'élimination des eaux d'égout. En plus du problème de la stabilité des fondations provenant du dégel du pergélisol, les tuyaux d'eau et d'égouts ne peuvent être placés au-dessous du niveau de congélation et partant, sont exposés au risque de gel. Pour surmonter de telles difficultés, les tuyaux de service sont souvent enterrés dans des coffres chauffés et isolés, appelés "utilidors", installés au-dessus du sol et supportés de la même façon que les édifices.

Pour résumer, l'expérience de la construction en pergélisol a fait ressortir les coûteuses difficultés qui peuvent surgir si l'on n'a pas pris soin de choisir l'emplacement approprié et si l'on n'a pas tenu compte du pergélisol. En pratiquant judicieusement les méthodes connues et en soignant les détails à toutes les phases de

les cailloux et les roches constituent un obstacle à l'enfoncement des pieux, il peut être plus économique d'appliquer une autre méthode.

On se sert parfois de fondations en surface; il faut alors déposer une couche isolante de gravier sur le sol non dérangé, afin de retarder l'afflux descendant de la chaleur. La construction est assise sur cette couche isolante. On doit exercer une grande prudence en pareil cas, vu que l'épaisseur du gravier employé pour conserver le pergélisol varie selon les conditions locales et qu'elle est difficile à déterminer. Dans ce genre de construction, il peut arriver que l'abaisssement du niveau du pergélisol cause un affaïsssement suivant les propriétés du sol. En outre, l'action du gel dans la couche active du sol sous l'édifice peut causer des ennuis.

Il faut tenir compte de ces facteurs, surtout dans la construction de routes et de pistes d'atterrissage, où la méthode de ventilation employée pour les immeubles ne saurait servir et où l'on doit avoir recours à une couche isolante de gravier pour retenir le froid dans le sol. En pareils cas, le choix de l'emplacement qui convient le mieux et le souci de dérangier le moins possible la surface du sol, quand il s'agit de sols peu convenables, acquièrent une importance capitale. La seule exception à cette règle de conservation du sol pergelé se produit dans les régions méridionales du pergélisol, où le sol gelé existe à l'état d'îlots épars et reste proche du point de dégel. Dans ces régions, il sera parfois plus économique d'enlever le pergélisol en le dégelant avant de construire et d'ériger l'édifice selon les procédés ordinaires.



## Techniques de construction

L'interprétation des photographies aériennes s'avérera très utile à l'établissement de relevés tant détaillés que régionaux, mais il faut l'appuyer d'inventaires terrestres lors du stade terminal qui comprend le calibrage du sol, la topographie, le drainage et la végétation propres à chaque emplacement. L'observation des particularités de surface peut fournir de précieux indices sur la nature des conditions sous la surface. S'ils sont utilisés avantageusement, ils seront d'un grand secours pour l'ingénieur qui est en train d'estimer provisoirement la valeur d'un emplacement. Reste toujours nécessaire, cependant, l'échantillonnage de parcelles du pergélisol, afin d'en déterminer le profil sol-glace; aussi a-t-on à cette fin des techniques spéciales.

Même si l'exécution de travaux de génie sur des matières granuleuses contenant peu ou pas de glace permet de faire usage de plans et de techniques de construction conventionnelles, la chose n'est pas toujours possible. Lorsque'il faut utiliser des matières de fine texture à haute teneur en glace, on doit alors s'efforcer de maintenir l'état de gel du sol.

La façon dont on y parvient dans la pratique dépend de la structure à édifier. Pour des immeubles chauffés et la plupart des bâtisses emmurées, la ventilation est la méthode communément employée: il s'agit de hisser la structure au-dessus du sol, afin que l'air puisse circuler dans l'espace libre, ce qui atténue le courant de chaleur atteignant le pergélisol. Les fondations sont établies dans le sol congelé, de sorte qu'un abaissement du niveau du pergélisol peut être toléré sans qu'il y ait perte du point d'appui. Des pieux enfoncés à la vapeur se sont avérés appropriés dans les sols à texture fine. Là où

protéger la couche organique avant que ne commencent les travaux en un lieu donné, en ayant soin d'épandre une épaisseur d'un ou deux pieds de gravier sur toutes les surfaces susceptibles d'être affectées.

#### Le pergélisol et l'eau

Une troisième propriété du pergélisol, qu'on oublie trop souvent, c'est son étanchéité à l'écoulement de l'eau; l'eau ne pouvant percoler à travers un sol congelé, tout acheminement des eaux se trouve retenu à la surface de la terre, ou juste au-dessus. Cette absence de drainage souterrain entraîne fréquemment un excès d'eau à la surface, même si la majeure partie du Grand Nord se signale par une très faible précipitation. Une construction imprévoyante fait-elle échec à l'écoulement naturel, l'eau accumulée accélérera le dégel du pergélisol, ce qui peut avoir des conséquences désastreuses.

Comme les difficultés de construction sont beaucoup moindres en sols rocheux ou granuleux à faible teneur en glace, la localisation de ces emplacements constitue un élément primordial de l'entreprise en bâtiment, en pays septentrional. Dans bien des cas, les frais accrus de construction et d'entretien qu'exige un emplacement défavorable dépassent largement ce qu'il en coûterait pour mener des études plus fouillées sur le choix d'un emplacement.

Les exigences spécifiques d'un relevé des emplacements possibles varieront selon les moyens dont on dispose en chaque cas, mais les objectifs principaux seront immuables, à savoir: déterminer les particularités des meilleurs terrains disponibles et présenter ensuite les données sur lesquelles fonder un plan satisfaisant.



Pour assurer le maintien des conditions de gel en cours de construction et d'utilisation d'un immeuble ou de quelque autre structure édiflée sur pergélisol, on utilise des techniques particulières de dessin et de structure, et il faut encore que toutes les phases de la construction soient soumises à une rigoureuse discipline et à une surveillance sans relâche. Il est souvent nécessaire de

En zones de pergélisol stable, il existe un délicat équilibre de température entre la couche supérieure du sol congelé et la terre de surface ou extérieure. Toute altération du revêtement isolant naturel, tel que l'enlèvement de la mousse, peut bouleverser cet équilibre thermique prévu par la nature et occasionner un commencement de dégel dans le pergélisol. Rien que le passage d'un véhicule à traction sur une surface de terre brute peut diminuer suffisamment la valeur isolante de la couche de mousse pour provoquer le dégel redouté.

sol et jusqu'à quel point la circulation routière sera affectée par le dégel. Il arrive souvent que des matières congelées comme le roc, le gravier ou le sable grossier contiennent peu de glace et causent peu de soucis. Toutefois de grandes étendues du Nord canadien sont formées de sols finement granulés par le frottement des glaciers en marche. De tels sols comptent en général une haute teneur en glace, qui peut aller jusqu'à six fois le volume de la terre même; donc, pour supporter adéquatement des structures charpentées, ils ne doivent pas avoir d'occasion de dégeler. Empêcher le gel dans le sol n'est certes pas une mince entreprise, étant donné l'extrême sensibilité du pergélisol aux fluctuations atmosphériques.

certaines de milles où des zones à constant pergelisol (là où il est partout répandu sous la surface le cèdent à des zones à pergelisol sporadique (là où la terre gelée tend à se morceler en îlots ou plaques, au sein de la matière non gelée).

Or, ce sont ces dernières zones à pergelisol partiel qui posent à l'ingénieur en construction le pire problème, en raison surtout de la présence restreinte du pergelisol, - d'où, par conséquent, la difficulté de le situer en des lieux précis, en raison aussi de la température typique du pergelisol, en ces parages, soit environ 320F, qui approche du dégel.

C'est la fonte du pergelisol à forte teneur en glace qui soulève les pires embarras pour la construction en zones de pergelisol. La glace, dans un sol gelé, peut assumer la forme de lames ou rainures allant de l'épaisseur infinitésimale d'un cheveu à trois ou quatre pieds, à moins qu'elle ne se produise à l'état d'enduit sur de menues mottes de terre, sur des cailloux ou des pierres. On découvre parfois de surprenants dépôts de glace, sous forme de monceaux ou d'encaves enfouis dans le sol gelé.

### La nature des sols

Dans les sols en état de gel, la glace agit comme un ciment qui lie les particules diverses en une sorte de conglomérat très résistant. Mais, une fois dégelé, ce sol qui était "gelé dur" peut se transformer en une boue molle ayant peu ou prou de poids pour supporter des masses. La connaissance de la teneur en glace du pergelisol s'avère d'une importance primordiale pour l'ingénieur, qui peut alors établir à l'avance le degré d'affaiblissement du

qu'on applique le terme de pergélisol.

La terre en zones à pergélisol aurait normalement deux couches distinctes: la couche supérieure ou active, qui alternerait, au rythme des saisons, entre la congélation et le dégel; puis la couche inférieure, dite couche de pergélisol qui, elle, demeurerait continuellement gelée. La

profondeur de la couche active est susceptible de varier selon les nombreux facteurs locaux, dont le type de sol, sa teneur en humidité et son revêtement végétal, à peu près de la façon que le degré de pénétration du gel varie selon les conditions locales, dans les régions plus au sud du Canada. De même, les fondations situées dans la couche

active sont exposées à l'action du gel et aux complications qui s'en suivent, à peu près comme dans les sols gelés des régions plus tempérées. Presque la moitié de la superficie terrestre de notre pays est recouverte de pergélisol. Bien que confinée surtout au Yukon et aux Territoires du Nord-Ouest, cette bande de pergélisol avance dans la partie septentrionale des provinces, en particulier dans les

extrémités nord du Manitoba et du Québec. Comme on peut s'y attendre, l'épaisseur du pergélisol augmente au fur et à mesure que le territoire se prolonge vers le nord, variant de quelques pieds dans des régions comme celle de Hay River, par exemple, jusqu'à environ 1,300 pieds à Resolute Bay, dans le Grand Nord.

### Le pergélisol et le génie

Ce qui importe pour l'ingénieur, c'est de savoir où se trouve, au Canada, la limite méridionale du pergélisol. Malheureusement, il n'existe pas de ligne de démarcation nette, comme on la voit généralement tracée sur les cartes géographiques. En pratique, cette limite du pergélisol consiste en une ceinture de terre d'une largeur de plusieurs



Un sol perpétuellement gelé, communément appelé "pergélisol", est sans doute la particularité la mieux connue du Grand Nord, mais c'est aussi la moins comprise. Bien qu'il ne s'agisse pas là d'un phénomène neuf, ce n'est qu'avec l'avènement de projets de construction encore récent comme la route de l'Alaska, le réseau Canol et les pistes d'atterrissage de la grande route du Nord-Ouest, que les ingénieurs en bâtiment se sont effectivement butés aux difficultés propres à la construction en pergélisol.

Pour surmonter ces difficultés, l'ingénieur doit d'abord connaître à fond les propriétés fondamentales du pergélisol, savoir comment ces propriétés peuvent varier selon les diverses conditions atmosphériques et quelles en sont les répercussions sur les modes de construction.

Le vocable "pergélisol" désigne cette couche de la croûte terrestre où la température est inférieure à 32°F. Or, le mot ne décrit que la condition thermique du sol et non sa composition, qui peut être tout à tour subaiguë, rocheux, gravier, sable, limon ou vase, glaise ou fondrière, ou encore un mélange de plus d'une de ces matières.

Pergélisol n'est donc pas le nom de quelque nouvelle substance mais simplement l'équivalent (gelé) des terres qui se trouvent en climat plus doux.

### Le pergélisol et les matériaux

Lorsqu'il s'agit de roc solide, de gravier et de sable, cet état de gel n'affecte guère les propriétés des matériaux du point de vue des travaux de génie, mais s'il s'agit d'un sol à consistance limoneuse ou argileuse, donc qui contient de l'eau, le gel le transforme en une masse dure et solide. Aussi est-ce à du limon ou de l'argile gelé en permanence

Publié avec l'autorisation de

l'hon. J. Hugh Faulkner,

ministre des Affaires indiennes et du Nord,

Ottawa, 1977

QS-0053-000-BB-A3

©Ministre des Approvisionnements et

Services Canada 1977

N° de catalogue: R72-11473

ISBN-0-662-0-1446-4

OBSTACLES: LE SOL ET LE CLIMAT

LA CONSTRUCTION EN PERGELISOL:









**Au nord du 60<sup>e</sup>**  
**La construction**  
**en pergélisol:**  
**Obstacles: Le sol**  
**et le climat**

**Indian and  
Northern Affairs**

**Affaires indiennes  
et du Nord**

